第 38 卷第 4 期
2018 年 2 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.38,No.4
Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201701180150
陈淼,苏晓磊,黄慧敏,党成强,高婷,曾波,陶建平.三峡库区支流生境因子对库区蓄水的响应.生态学报,2018,38(4):1478-1486.
Chen M, Su X L, Huang H M, Dang C Q, Gao T, Zeng B, Tao J P.Response of habitat factors to reservoir impoundment in tributaries in the Three Gorges Reservoir Region.Acta Ecologica Sinica,2018,38(4):1478-1486.

三峡库区支流生境因子对库区蓄水的响应

陈 淼,苏晓磊,黄慧敏,党成强,高 婷,曾 波,陶建平*
西南大学生命科学学院,三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室,重庆 400715

摘要:三峡水库的运行调度,使库区支流形成了截然不同的 3 种河段类型:完全受水库蓄水影响的 145m 回水段(完全河段),既受蓄水影响又受自然洪汛影响的 145—175m 回水段(双重河段)以及不受蓄水影响的大于 175m 的自然河流段(自然河段)。为明确库区蓄水对河流不同河段生境因子的影响程度及差异,对三峡库区 36 条重要支流的 254 个河段进行河流生境调查,进行不同河段下生境指标的因子分析,并进一步分析水文情势自然性与不同河段各生境因子的相关关系。结果表明,植被状况对 3 种不同河段来说均为重要生境因子,但受三峡水库蓄水影响,完全河段植被结构不完整;受库区蓄水影响,完全河段与双重河段及自然河段相比,流速流态状况、表层覆盖物状况、河岸带宽度、湿润率等生境因子有明显改变;水文情势自然性对不同河段生境因子的影响不同。

关键词:三峡水库;库区支流;生境因子;主成分分析和因子分析法

Response of habitat factors to reservoir impoundment in tributaries in the Three Gorges Reservoir Region

CHEN Miao, SU Xiaolei, HUANG Huimin, DANG Chengqiang, GAO Ting, ZENG Bo, TAO Jianping*
Key Laboratory of Eco-environment in the Three Gorges Reservoir Region of the Ministry of Education, Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in the Three Gorges Reservoir Region, College of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Water level management strategies specify that the impoundment of the Three Gorges Reservoir (TGR) starts from 145m asl in September to 175m asl in November. The water level is maintained for three months and then returned to 145m asl again in May. Consequently, three types of water-level-fluctuation zones appear along the Three Gorges Reservoir tributaries banks: (1) The area from the estuary to the 145-m backwater (completely-flooding reach), where the former natural riparian zone is submerged permanently since its elevation is below 145m asl; (2) the 145-m backwater area to the 175-m backwater area (double-flooding reach), which is affected by summer flooding from July to September as well as by impoundment from September to May; (3) the area above the 175-m backwater area (natural reach), which is not affected by reservoir water storage. In order to distinguish the influence of reservoir water storage on habitat factors in the different river reaches, we investigated the river habitats of 254 reaches in 36 major tributaries in the Three Gorges Reservoir area. Based on the results of these investigations, we used factor analysis to assess the 18 indicators on river hydrology, river morphology, and the water-level fluctuation zone habitat of different river habitats, and analyzed the relationship between the degree of flow regime naturalness and habitat factors in different reaches. The results showed that vegetation conditions are important habitat factors in three different types of sections. Affected by the impoundment of the Three Gorges reservoir, most riparian vegetation is herbaceous and flooding-tolerant, with nearly no trees or shrubs. Compared with the double reach

基金项目:国务院三峡办三峡后续工作库区生态与生物多样性保护专项(5000002013BB5200002-1)
收稿日期:2017-01-18; **网络出版日期**:2017-11-12

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: taojp@swu.edu.cn

and natural reach zones, the completely reach zone was subject to significant changes in the flow pattern, surface coverage, width of the buffer zone, and wetting rate. The effects of flow regime conditions on habitat factors in different river reaches differed.

Key Words: Three Gorges Reservoir Region; rivers in reservoir area; habitat factors; PCA and FA

三峡库区的长江干流具有众多支流汇入,三峡水库建成后,长江干流和支流下游数公里至数十公里的流水河段被淹没形成缓流和静水河段,支流具有的流水河段明显减少。原有的水流快或湍急、具有多样化生境的河流水系消失,变成了水流缓慢甚至静止的湖泊河流复合型水系[1]。

根据三峡水库的运行调度方案,为满足防洪、发电、航运、冲於、下游水量补充等的综合要求,每年 9 月初水库开始蓄水到 10 月初蓄至 175m。每年的 11 月至次年 4 月底,水库尽量维持在较高水位,以保证发电和航运需要;当入库流量低于电站对流量的要求时,调节库容,水库水位下降,但 4 月末以前水库水位不能低于 155m。次年 5 月末至 6 月初,水库水位降至防洪限制水位 145m。在每年的汛期 6—9 月份,水库水位维持在 145m 防洪控制水位运行,超过电站过流能力的水量,通过泄洪坝泄水,只有当入库流量超出下游河道安全泄洪量时,水库才拦洪蓄水,使水库水位抬高,洪峰过后水库水位仍降至 145m 运行[2-4]。

由于库区最低水位为 145m,最高水位为 175m,而在大坝修建以前,长江的涪陵和江津的平均水位分别为 145m 和 175m。因此,在大坝至涪陵之间的支流受库区水位调度,形成了截然不同的三种河段类型[5]:入江口至 145m 回水区为完全受水库蓄水影响的河段(完全河段),145m 回水区至 175m 回水区为既受蓄水影响又受自然洪汛影响的河段(双重河段)以及不受蓄水影响的大于 175m 的自然河流段(自然河段)。在涪陵至江津之间的支流则形成双重河段及自然河段两种不同河段。

三峡库区蓄水导致 3 种不同河段的生境发生了极大的变化,所以本研究通过对三峡库区 36 条重要支流生境的调查,使用因子分析及相关分析,分析库区蓄水对不同河段生境因子影响差异,以期为库区支流不同河段水生生境的保护和管理提供理论依据。

1　研究区域概况

本研究对三峡库区 36 条长江一级支流(图 1)开展生境状况调查与评估工作,江津-长寿段的 11 条一级支流包括:綦江、大溪河、一品河、花溪河、五布河、嘉陵江、朝阳河、长塘河、御临河、桃花溪、龙溪河;涪陵-巫山段的 22 条一级支流包括:梨香溪、乌江、珍溪河、渠溪河、碧溪河、龙河、池溪河、东溪河、黄金河、汝溪河、瀼渡河、苎溪河、小江、汤溪河、磨刀溪、长滩河、梅溪河、草堂河、大溪河、大宁河、官渡河、抱龙河;湖北境内的 3 条一级支流包括:神龙溪、青干河、香溪河。

2　研究方法

2.1　数据收集及处理分析

本研究对三峡库区 36 条重要支流进行调查,研究区域内共设置样点断面 254 个,其中完全河段设置样点断面 64 个,双重河段设置样点断面 59 个,自然河段设置样点断面 131 个(图 1)。于 2015 年 6 月—10 月、2016 年 8 月—9 月进行野外调查。调查时间避开蓄水期及洪水期,在平水期进行。通过实地考察、采访当地群众,确定 145m 及 175m 回水区位置。以 500m 的河段为调查单位,从下游往上游步行,调查、测量和记录河流生境的各个指标;同时使用 GPS 记录每个样点经纬度坐标并拍摄照片。由于河流的左右岸的形态、植被等特征不一,所以河岸带生境中各指标分别记录左右岸情况,各指标分值取左右岸的平均值。使用 Excel 2014 和 SPSS 22.0 等软件进行统计处理。

2.2　生境因子及赋值标准

库区河流与自然河流很大的区别就在于河流水文情势的改变,所以在生境指标的选取上,首先考虑能代



图 1 研究区样点分布图

Fig.1 Distributions of sampling sites in three gorges reservoir region

表库区河流特点的相关指标,除此之外,本文参考国内外使用广泛的河流生境评价方法[6-24],对这些评价方法中的指标进行统计,统计出使用频率高的指标,并且结合三峡库区支流在蓄水影响下的生境特点,综合考虑自然因素与人为因素对大型水库库区河流生境的影响,筛选出以下 18 个生境指标进行调查与研究(表 1)。

3 结果与分析

3.1 基于因子分析的生境因子的空间变化

使用统计软件 SPSS 22.0 对 36 条支流的完全河段、双重河段、自然河段的生境因子进行因子分析[26-28]。首先对数据进行 KMO 和 Bartlett 的检验,不同河段生境因子的 KMO 检验系数分别是完全河段 0.647、双重河段 0.650、自然河段 0.792,均超过了 0.5,Bartlett 检验值达到显著水平且其与对应的相伴概率值为 0,小于指定的显著水平 0.05。因此三峡库区支流不同河段生境因子可以利用因子分析法进行分析研究。

3 种不同河段的主成分特征值如图 2 所示,完全河段、双重河段、自然河段均为前 6 个主成分的特征值大于 1,其累计方差贡献率分别为 73.756%、74.448%、74.964%。为了使各个主成分具有明确的实际意义,使用方差最大正交旋转(Varimax)对不同河段前 6 个主成分进行因子分析。

在完全河段(表 2),旋转后第一主成分的方差贡献率为 24.222%,与第一主成分(PC1)密切相关的指标是植被覆盖率、植被连续性、植被结构完整性,其载荷量分别为 0.880、0.910、0.827,从河岸带的植被状况反映河流生境质量状况。旋转后第二主成分的方差贡献率为 15.089%,第二主成分(PC2)在人为影响长度、河岸类型上有较大载荷,其载荷量分别为 0.867、0.836,表现为河岸人为干扰方面。旋转后第三主成分的方差贡献率为 11.525%,第三主成分(PC3)在流速流态状况、水量上有较大载荷,其载荷量分别为 0.867、-0.839,表现为水文情势方面。第四主成分(PC4)在表层覆盖物状况上有较大载荷,其载荷量为 0.886。第五主成分(PC5)在河床底质种类数量、底质受泥沙覆盖率上有较大载荷,其载荷量分别为 0.737、0.794,表现为河床底质方面。第六主成分(PC6)在水文情势自然性上有较大载荷,其载荷量为 0.752。

在双重河段(表 3),旋转后第一主成分的方差贡献率为 16.827%,与第一主成分(PC1)密切相关的指标是植被覆盖率、植被连续性、植被结构完整性,其载荷量分别为 0.845、0.865、0.706,从河岸带的植被状况反映河流生境质量状况。旋转后第二主成分的方差贡献率为 15.942%,第二主成分(PC2)在流速流态状况、河床

表 1　河流生境因子与评分标准[25]

Table 1　Indicators and their criteria for assessment of river habitat quality

序号 Number	生境因子 Habitat factors	评分标准 Scoring criteria				
1	水文情势自然性	流量仅有轻微改变	有水文情势的改变,但是季节节律仍保持其很好的特性	有水文情势的改变,但是对季节节律仅有稍微明显的改变	在某个时期有流量的明显改变,意味着季节节律的倒置	有一个非常重要的流量改变,其扭转了季节节律或产生了一个恒定的环境流量
2	流速流态状况	有 4 种及以上流态类型,流速流态变化很大,有较多的流速缓急不同的区域	有 3 种流态类型,不同断面流速流态变化较大	有 2 种流态类型,不同断面流速流态变化一般	流速缓慢,各断面流速无变化	水体基本不流动
3	表观水质	清澈透明、无异味	轻微浑浊、少量异味	比较浑浊、较大异味	很浑浊、很大异味	极端浑浊、恶臭味
4	水量	水量较大,河水可淹没河岸两侧基部或仅暴露少量的河床基底	水量比较大,河岸两侧基部暴露,河道水面宽度约占河道宽度的 75%	水量一般,河岸两侧基部暴露,河道水面宽度约占河道宽度的 50%	水量较少,河岸两侧基部暴露,河道水面宽度约占河道宽度的 25%	水量很少,河道干涸
5	湿润率	0.8—1	0.6—0.8	0.4—0.6	0.2—0.4	0—0.2
6	人为影响长度	<50m	50—100m	100—200m	200—300m	>300m
7	河床底质种类数量	>4	4	3	2	1
8	底质受泥沙覆盖率	<20%	20%—40%	40%—60%	60%—80%	80%—100%
9	表层覆盖物	覆盖物种类超过 3 种,覆盖面积比例>20%	3 种覆盖物,覆盖面积 10%—20%	2 种覆盖物,覆盖面积 0—10%	1 种覆盖物,覆盖面积 <5%	无覆盖
10	河岸类型	自然原型	近自然型	抛石/土堤挡墙/混凝土栅格植被	堆石/浆砌石块/干砌石块	混凝土固化
11	河岸侵蚀程度	无侵蚀	仅在弯曲或狭窄的地方有侵蚀	坡脚侵蚀频繁	岸坡侵蚀严重	河岸坍塌
12	河岸坡度	0—15	15—30	30—45	45—60	60—90
13	河岸带宽度	>河宽 1 倍	河宽 0.5—1 倍	河宽 0.25—0.5 倍	河宽 0.1—0.25 倍	河宽 0—0.1 倍
14	河岸带土壤厚度	>100cm	30—100cm	10—30cm	<10cm	无土壤
15	植被覆盖率	>75%	50%—75%	25%—50%	5%—25%	0—5%
16	植被连续性	连续均匀分布	半连续分布	丛块分布	单独零散分布	无植被
17	植被结构完整性	乔灌草繁茂	任意一种或两种繁茂	任意两种稀疏	只有一种稀疏	无植被
18	岸边带土地利用方式	不受干扰的林地、灌丛、草地、自然湿地	林地、灌丛、草地、自然湿地,有少量农作物	耕地与林地、灌丛、草地、自然湿地交错	耕地/果园	裸地/城镇/公园
	赋予分值 Score	5	4	3	2	1

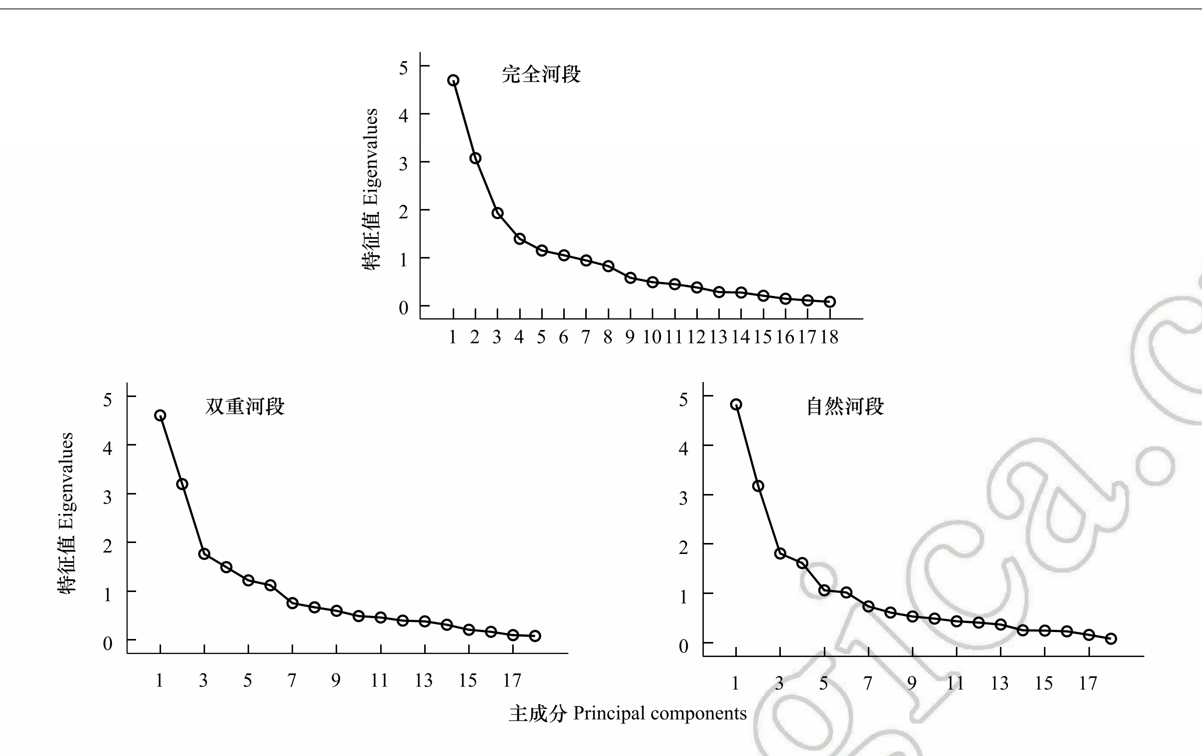


图 2 完全河段、双重河段、自然河段主成分特征值变化曲线

Fig.2 Scree plot of the eigenvalues of principal components in different reach

表 2 完全河段旋转因子载荷矩阵

Table 2 Loading matrix of rotated factors

序号 Number	评价指标 Assessing indicator	主成分 Principal component					
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
1	水文情势自然性	0.047	0.189	0.315	0.052	−0.011	0.752
2	流速流态状况	0.073	−0.099	0.867 *	−0.051	−0.015	0.004
3	表观水质	0.226	0.576	−0.002	−0.297	−0.077	0.071
4	水量	−0.118	−0.065	−0.839	−0.039	−0.013	−0.323
5	湿润率	−0.456	−0.213	0.111	−0.626	−0.102	−0.268
6	人为影响长度	0.059	0.876 *	−0.168	0.050	0.008	0.036
7	河床底质种类数量	0.065	−0.293	−0.189	−0.092	0.737	0.264
8	底质受泥沙覆盖率	−0.278	0.026	0.155	0.017	0.794	−0.247
9	表层覆盖物状况	−0.040	−0.071	−0.052	0.886 *	−0.102	0.000
10	河岸类型	−0.142	0.836	0.064	0.145	−0.127	0.020
11	河岸侵蚀程度	0.734	0.110	0.027	0.103	−0.043	−0.246
12	河岸坡度	0.747	−0.296	0.314	−0.194	0.004	0.050
13	河岸带宽度	0.366	0.433	0.179	0.479	0.001	−0.327
14	河岸带土壤厚度	0.543	−0.237	0.509	−0.180	−0.026	−0.102
15	植被覆盖率	0.880 *	0.151	0.103	0.109	−0.155	−0.019
16	植被连续性	0.910 *	0.078	−0.001	0.030	−0.016	0.104
17	植被结构完整性	0.827	−0.146	0.050	0.133	−0.062	0.182
18	岸边带土地利用方式	−0.400	0.581	−0.095	0.117	−0.103	0.323

* 表示生境因子的载荷矩阵大于 0.85

底质种类数量上有较大载荷,其载荷量分别为 0.823、0.821,主要从水生生物栖息的环境上反映河流生境质量状况。旋转后第三主成分的方差贡献率为 12.740%,第三主成分(PC3)在人为影响长度、河岸类型、岸边带土地利用方式上有较大载荷,其载荷量分别为 0.834、0.750、0.707,表现为河岸带人为干扰方面。旋转后第四主

成分的方差贡献率为 12.490%,第四主成分(PC4)在湿润率、河岸带宽度上有较大载荷,其载荷量分别为-0.890、0.900,主要从消落带的宽度上反映河流生境状况。第五主成分(PC5)、第六主成分(PC6)在河岸带土壤厚度、表观水质上有较大载荷,其载荷量分别为 0.838、0.784。

表 3　双重河段旋转因子载荷矩阵

Table 3　Loading matrix of rotated factors

序号 Number	评价指标 Assessing indicator	主成分 Principal component					
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
1	水文情势自然性	0.192	0.591	-0.128	-0.083	-0.377	-0.369
2	流速流态状况	-0.238	0.823	0.020	0.302	-0.103	-0.117
3	表观水质	0.167	0.090	0.189	0.257	-0.255	0.784
4	水量	0.233	-0.393	0.051	-0.519	0.070	0.542
5	湿润率	0.007	-0.196	-0.128	-0.890*	-0.027	0.012
6	人为影响长度	0.159	-0.151	0.834	0.221	0.063	-0.071
7	河床底质种类数量	-0.108	0.821	0.121	-0.091	0.069	0.129
8	底质受泥沙覆盖率	-0.058	0.577	-0.316	0.175	-0.284	-0.123
9	表层覆盖物状况	-0.335	0.196	0.277	0.241	-0.399	-0.519
10	河岸类型	0.271	-0.139	0.750	0.034	0.037	0.159
11	河岸侵蚀程度	0.600	-0.505	0.088	0.023	-0.330	-0.004
12	河岸坡度	0.479	-0.322	-0.268	0.198	0.379	-0.144
13	河岸带宽度	0.098	-0.107	0.161	0.900*	0.034	0.123
14	河岸带土壤厚度	0.207	-0.075	0.076	0.048	0.838	-0.094
15	植被覆盖率	0.845	-0.057	0.297	0.073	-0.015	0.158
16	植被连续性	0.865*	-0.042	0.246	0.007	0.133	0.092
17	植被结构完整性	0.706	-0.030	0.115	-0.080	0.258	0.132
18	岸边带土地利用方式	0.154	0.415	0.707	0.110	-0.070	0.054

*表示生境因子的载荷矩阵大于 0.85

在自然河段(表 4),旋转后第一主成分的方差贡献率为 17.544%,与第一主成分(PC1)密切相关的指标是水量、湿润率、河岸带宽度上有较大载荷,其载荷量分别为-0.820、-0.854、0.891,主要从水量及河宽上反映河流生境状况。旋转后第二主成分的方差贡献率为 16.754%,第二主成分(PC2)在植被覆盖率、植被连续性、植被结构完整性,其载荷量分别为 0.917、0.939、0.889,从河岸带的植被状况反映河流生境质量状况。旋转后第三主成分的方差贡献率为 11.485%,第三主成分(PC3)在人为影响长度、河岸类型上有较大载荷,其载荷量分别为 0.822、0.857,表现为河岸带人为干扰方面。第四主成分(PC4)、第五主成分(PC5)、第六主成分(PC6)分别在表层覆盖物状况、河岸侵蚀程度、河岸坡度上有较大载荷,其载荷量分别为-0.826、0.802、0.775。

3.2　不同河段重要生境因子的分辨

为了明确哪些生境因子对不同河段生境质量的影响更为重要,本文以不同河段前 6 个主成分旋转因子载荷矩阵生境因子变量的相关系数值大于 0.85 为标准,选取不同河段重要的生境因子,其中正相关系数与负相关系数分别代表生境因子与相对应的主成分的相关关系(表 5)。

在完全河段,植被覆盖率、植被连续性、人为影响长度、流速流态状况、表层覆盖物状况为正相关系数。完全河段由于完全受三峡水库蓄水影响,形成高达 30m 的水库消落带,长时间被水淹没,导致消落带植被多为耐水淹的草本植物,很少出现乔木及灌木树种,与苏晓磊等[5]对三峡库区消落带植被的研究结果类似。植被覆盖率在第一主成分(表 2)中与植被连续性相关性很大且呈正相关,表明植被覆盖率越高的情况下,植被连续性状况也呈现出连续均匀分布趋势。河岸类型主要为近自然型,很少有人为修建的堤坝,靠近河岸部分多为弃耕地,消落带上部在水退期被当地居民开垦耕地的现象严重。完全河段流态类型单一,流速缓慢,导致流水生境大幅度减少,而且由于水面宽阔,水深较大,自然岩石、悬垂植被、水生植物等表层覆盖物几乎没有,大

大减少了河流生境的多样性。

表 4 自然河段旋转因子载荷矩阵

Table 4 Loading matrix of rotated factors

序号 Number	评价指标 Assessing indicator	主成分 Principal component PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
1	水文情势自然性	0.295	−0.042	−0.055	0.348	0.332	0.614
2	流速流态状况	0.572	−0.053	−0.050	0.227	0.342	0.448
3	表观水质	0.203	−0.177	0.242	0.764	0.147	0.002
4	水量	−0.820	0.245	−0.100	0.111	−0.172	−0.079
5	湿润率	−0.854 *	0.109	−0.058	−0.017	0.109	−0.240
6	人为影响长度	−0.058	0.206	0.822	−0.190	−0.158	0.004
7	河床底质种类数量	0.206	−0.272	0.052	0.251	0.228	0.583
8	底质受泥沙覆盖率	0.478	−0.165	−0.075	0.243	0.486	0.160
9	表层覆盖物状况	0.096	0.057	0.212	−0.826	0.052	−0.091
10	河岸类型	0.072	0.223	0.857 *	0.001	0.022	0.048
11	河岸侵蚀程度	−0.131	0.271	0.118	−0.096	0.802	0.107
12	河岸坡度	0.073	0.223	0.010	−0.229	−0.150	0.775
13	河岸带宽度	0.891 *	0.100	0.013	0.079	−0.006	0.025
14	河岸带土壤厚度	−0.398	0.257	0.098	−0.173	−0.538	0.001
15	植被覆盖率	−0.108	0.917 *	0.181	−0.041	0.093	0.092
16	植被连续性	−0.103	0.939 *	0.163	−0.075	0.059	0.017
17	植被结构完整性	−0.047	0.889 *	0.103	−0.142	−0.108	−0.098
18	岸边带土地利用方式	0.111	−0.013	0.659	0.363	0.380	−0.089

* 表示生境因子的载荷矩阵大于 0.85

表 5 不同河段重要的生境因子(相关系数大于 0.85 为标准)

Table 5 Most important habitat factors in different reach (the correlation coefficient is greater than 0.85)

河段 Reach	正相关系数 Positive correlation coefficient	负相关系数 Negative correlation coefficient
完全河段 Completely-flooding reach	植被覆盖率、植被连续性、人为影响长度、流速流态状况、表层覆盖物状况	—
双重河段 Double-flooding reach	植被连续性、河岸带宽度	湿润率
自然河段 Natural reach	植被覆盖率、植被连续性、植被结构完整性、河岸带宽度、河岸类型	湿润率

在双重河段,植被连续性、河岸带宽度为正相关系数,湿润率为负相关系数。当三峡库区水位在 145m 时,双重河段不会受到库区蓄水影响,随着三峡库区水位升高至 175m,双重河段从下游至上游水位逐渐升高,其后随着库区水位的变化而变化。其中湿润率在第四主成分(表 3)中,与河岸带宽度相关性很大且呈负相关,这两个生境因子均可以一定程度上反应某一段河道横切面的地形特征变化程度。结合实际调查发现,越靠近 145m 回水区的河段,河岸带的宽度越大,从下游至上游,河岸带宽度逐渐减小,湿润率的数值逐渐增大,表明越靠近上游,库区蓄水形成的消落带区域越小,蓄水对其影响越小,而受夏季洪汛的影响越大。

在自然河段,植被覆盖率、植被连续性、植被结构完整性、河岸带宽度、河岸类型为正相关系数,湿润率为负相关系数。自然河段完全不受三峡库区蓄水影响,河岸带植被覆盖率及连续性高,植被结构相对完整。相同河流自然河段的河岸带宽度及湿润率的赋值相对接近,河岸带宽度变小,湿润率增大。自然河段处于河流上游,河岸类型多为自然原型及近自然型,人为干扰较小。

3.3 水文情势自然性与生境因子的相关关系

完全河段、双重河段、自然河段是由于三峡库区蓄水所形成的,受水文情势自然性的影响严重。采用

Pearson 相关分析,分析水文情势自然性对不同河段各生境因子的影响程度。结果表明(表 6),在完全河段,水文情势自然性与水量呈显著负相关;在双重河段,水文情势自然性与流速流态状况、河床底质种类数量、底质受泥沙覆盖率、表层覆盖物状况呈显著正相关,与水量呈显著负相关;在自然河段,水文情势自然性与流速流态状况、表观水质、河床底质种类数量、底质受泥沙覆盖率、河岸侵蚀程度、河岸坡度、河岸带宽度呈显著正相关,与水量、湿润率、表层覆盖物状况、河岸带土壤厚度、植被结构完整性呈显著负相关。

之所以出现上述结果,结合实际调查发现,由于完全河段为入江口至 145m 回水区,完全受水库蓄水的影响,在水文情势自然性上有一个非常重要的流量改变,产生了一个恒定的环境流量,所以水文情势自然性越差,蓄水产生的水量越多。在双重及自然河段,水文情势自然性越好,说明受水库蓄水影响越小,在实际调查过程中发现,受库区蓄水的影响越小,流速流态类型越多样化,急流、缓流、浅滩、平滑流、跌水等出现频率越多,对应的河床底质类型越多样,底质受泥沙覆盖率越多。在水文情势自然性好的河段,水量相对较少,漂石、木质残体、悬垂植被以及水生植物等表层覆盖物出现频率也较大。完全河段及双重河段的消落带,长时间水淹影响下,土壤流失严重,土层较薄,导致消落带植被多为耐水淹的草本植物,很少出现乔木及灌木树种,而自然河段仅受夏季洪汛影响,水文情势自然性良好,土层较厚,植被结构完整性较高。

表 6　水文情势自然性与生境因子的相关系数

Table 6　The relationship between habitat factors and flow regime naturalness

序号 Number	评价指标 Assessing indicator	河段 Reach		
		完全河段 Completely reach	双重河段 Double reach	自然河段 Natural reach
1	流速流态状况	0.092	0.463 **	0.619 **
2	表观水质	0.145	−0.058	0.316 **
3	水量	−0.492 **	−0.329 *	−0.290 **
4	湿润率	−0.194	−0.020	−0.372 **
5	人为影响长度	0.099	−0.200	−0.167
6	河床底质种类数量	−0.097	0.281 *	0.461 **
7	底质受泥沙覆盖率	−0.022	0.361 *	0.421 **
8	表层覆盖物状况	−0.023	0.297 *	−0.279 **
9	河岸类型	0.167	−0.146	0.048
10	河岸侵蚀程度	−0.035	−0.173	0.213 *
11	河岸坡度	0.093	−0.180	0.250 **
12	河岸带宽度	0.034	−0.123	0.310 **
13	河岸带土壤厚度	0.022	−0.223	−0.383 **
14	植被覆盖率	0.066	−0.010	−0.024
15	植被连续性	0.122	0.021	−0.087
16	植被结构完整性	0.150	−0.113	−0.213 *
17	岸边带土地利用方式	0.136	0.159	0.165

* * 表示 $P<0.01$, * 表示 $P<0.05$

4　结论

植被状况对 3 种不同河段来说均为重要生境因子,但完全河段消落带植被结构不完整,受三峡水库蓄水影响,消落带植被多为耐水淹的草本植物,很少出现乔木及灌木树种。自然河段不受三峡库区蓄水影响,河岸带植被覆盖率及连续性高,植被结构相对完整。双重河段靠近 145m 回水区的部分河段植被状况与完全河段类似,靠近 175m 回水区的部分河段植被状况与自然河段类似。

在完全河段,流速流态状况与表层覆盖物状况是三峡库区蓄水对库区支流影响最大的两个生境因子。完全河段流态类型单一,流速缓慢,导致流水生境大幅度减少,而且由于水面宽阔,水深较大,自然岩石、悬垂植被、水生植物等表层覆盖物几乎没有,大大减少了河流生境的多样性,对水生生物的生存和生长产生强烈的影

响。在双重河段与自然河段,河岸带宽度与湿润率是重要的生境因子,越靠近上游,库区蓄水形成的消落带区域越小,蓄水对其影响越小,受夏季洪汛的影响越大。

水文情势自然性对不同河段生境因子的影响不同。在完全河段,其对水量影响显著;在双重河段,对流速流态状况、底质受泥沙覆盖率、表层覆盖物状况、水量有显著的影响;在自然河段,对流速流态状况、表观水质、河床底质种类数量、底质受泥沙覆盖率、河岸侵蚀程度、河岸坡度、河岸带宽度、水量、湿润率、表层覆盖物状况、河岸带土壤厚度、植被结构完整性均有显著影响。

参考文献(References):

[1] Nilsson C, Berggren K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. BioScience, 2000, 50(9): 783-792.
[2] 黄秀山. 三峡库区生态与环境研究. 成都: 西南交通大学出版社, 2005.
[3] 黄真理, 李玉樑. 三峡水库水质预测和环境容量计算. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
[4] 黄真理, 吴炳方, 敖良桂. 三峡工程生态与环境监测系统研究. 北京: 科学出版社, 2006.
[5] Su X L, Zeng B, Huang W J, Xu S J, Lei S T. Effects of the Three Gorges Dam on preupland and preriparian drawdown zones vegetation in the upper watershed of the Yangtze River, P.R. China. Ecological Engineering, 2012, 44: 123-127.
[6] Belletti B, Rinaldi M, Buijse A D, Gurnell A M, Mosselman E. A review of assessment methods for river hydromorphology. Environmental Earth Sciences, 2015, 73(5): 2079-2100.
[7] Szoszkiewicz K, Buffagni A, Davy-Bowker J, Lesny J, Chojnicki B H, Zbierska J, Staniszewski R, Zgola T. Occurrence and variability of River Habitat Survey features across Europe and the consequences for data collection and evaluation. Hydrobiologia, 2006, 566(1): 267-280.
[8] 王强. 山地河流生境对河流生物多样性的影响研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
[9] Ecot J R, Dice J L, Celeste L A A, Podico R R, Tayong L M P, Abdon S A P, Olegario S P, Sabid J, Ferrer C J, Bigsang R T, Abalunan A J F, Jumawan J H. Riparian zone analysis using riparian, channel and environmental (RCE) inventory and water testing analysis in Lun Padidu river, Lun Padidu, Malapatan, Sarangani Province, Philippines. Advances in Environmental Sciences-International Journal of the Bioflux Society, 2014, 6(3): 276-283.
[10] Ladson A R, White L J, Doolan J A, Finlayson B L, Hart B T, Lake P S, Tilleard J W. Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. Freshwater Biology, 1999, 41(2): 453-468.
[11] Brierley G J, Cohen T, Fryirs K, Brooks A. Post-European changes to the fluvial geomorphology of Bega catchment, Australia: implications for river ecology. Freshwater Biology, 1999, 41(4): 839-848.
[12] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, Stribling J B. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish. 2nd ed. Washington, DC: U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999.
[13] Ollero A, Ibisate A, Gonzalo L E, Acín V, Ballarín D, Díaz E, Domenech S, Gimeno M, Granado D, Horacio J, Mora D, Sánchez M. The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: updated version. Limnetica, 2011, 30(2): 255-261.
[14] Barquín J, Fernández D, Álvarez-Cabria M, Peñas F. Riparian quality and habitat heterogeneity assessment in Cantabrian rivers. Limnetica, 2011, 30(2): 329-346.
[15] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究. 环境科学学报, 2007, 27(6): 928-936.
[16] 夏继红, 严忠民, 蒋传丰. 河岸带生态系统综合评价指标体系研究. 水科学进展, 2005, 16(3): 345-348.
[17] 娄会品, 高甲荣, 陈子珊. 北京郊区河岸带自然性评价指标体系. 水土保持通报, 2010, 30(1): 161-165.
[18] 王强, 袁兴中, 刘红, 庞旭, 王志坚, 张耀光. 基于河流生境调查的东河河流生境评价. 生态学报, 2014, 34(6): 1548-1558.
[19] 汪冬冬, 杨凯, 车越, 吕永鹏. 河段尺度的上海苏州河河岸带综合评价. 生态学报, 2010, 30(13): 3501-3510.
[20] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流生境质量评价. 生态学报, 2010, 20(2): 481-486.
[21] 邓晓军, 许有鹏, 翟禄新, 刘娅, 李艺. 城市河流健康评价指标体系构建及其应用. 生态学报, 2014, 34(4): 993-1001.
[22] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探. 水科学进展, 2005, 16(3): 349-355.
[23] 刘华, 蔡颖, 於梦秋, 龚蕾婷, 安树青. 太湖流域宜兴片河流生境质量评价. 生态学杂志, 2012, 31(5): 1288-1295.
[24] 朱卫红, 曹光兰, 李莹, 徐万玲, 史敏, 秦雷. 图们江流域河流生态系统健康评价. 生态学报, 2014, 34(14): 3969-3977.
[25] 陈淼, 苏晓磊, 党成强, 高婷, 黄慧敏, 董蓉, 陶建平. 三峡水库河流生境评价指标体系构建及应用. 生态学报, 2017, 24. DIO 号: 10.5846/stxb201610282197.
[26] 王菊翠, 仵彦卿, 党碧玲, 徐增让, 胡安焱, 张学真. 基于统计分析的陕西段泾河水质时空分布特征. 自然资源学报, 2012, 27(4): 674-685.
[27] 冯泽深, 顾岚, 陈琼, 高甲荣. 河溪生境因子对土地利用变化的响应研究. 水土保持通报, 2013, 33(1): 39-43.
[28] Shine J P, Ika R V, Ford T E. Multivariate statistical examination of spatial and temporal patterns of heavy metal contamination in New Bedford Harbor marine sediments. Environment Science & Technology, 1995, 29(7): 1781-1788.